

# SLM 3D 打印技术与失蜡铸造技术在可摘局部义齿支架制作中的应用

曾河清, 牟荣, 余跃

汉中市口腔医院口腔工艺科, 陕西 汉中 723000

**【摘要】** 目的 分析选择性激光熔融(SLM) 3D 打印技术与失蜡铸造技术在可摘局部义齿支架制作中的应用效果。方法 选取 2021 年 5 月至 2023 年 5 月汉中市口腔医院收治的 86 例 Kennedy I 类牙列缺损患者作为研究对象, 根据随机数表法将患者分为 A 组和 B 组各 43 例。A 组采用 SLM 3D 打印技术行可摘局部义齿支架制作, B 组采用失蜡铸造技术行可摘局部义齿支架制作。两组患者于义齿佩戴 1 周后复诊, 比较两组患者口腔内黏膜压痛点数量、义齿支架佩戴效果以及咀嚼效率; 两组患者于义齿佩戴 1 个月后再复诊, 比较两组患者的满意度评分、主观感受评分及并发症发生情况。结果 义齿佩戴 1 周后, A 组患者口腔内黏膜平均压痛点为  $(0.61 \pm 0.13)$  个, 明显少于 B 组的  $(2.23 \pm 0.21)$  个, A 组患者吸光度值为  $0.61 \pm 0.05$ , 明显高于 B 组患者的  $0.43 \pm 0.03$ , 差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); 义齿佩戴 1 周后, A 组患者的固位性、适合性和稳定性分别为 55.81%、53.49%、58.14%, 明显高于 B 组的 30.23%、27.91%、32.56%, 差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); 义齿佩戴 1 个月, A 组患者的主观感受评分和满意度评分分别为  $(28.07 \pm 2.75)$  分、 $(14.66 \pm 3.21)$  分, 明显高于 B 组患者的  $(16.55 \pm 0.44)$  分、 $(6.68 \pm 1.32)$  分, 差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); 义齿佩戴 1 个月, A 组患者的并发症总发生率为 6.98%, 明显低于 B 组患者的 23.26%, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。结论 SLM 3D 打印技术在可摘局部义齿支架制作中的应用效果良好, 制作义齿支架较传统失蜡铸造技术偏差更小, 具有更高的精确度, 同时患者使用舒适度和满意度也更高, 值得临床推广应用。

**【关键词】** 可摘局部义齿; 失蜡铸造; 选择性激光熔融; 3D 打印; 支架; 牙列缺损

**【中图分类号】** R783.6 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1003-6350(2024)08-1120-04

**Application effect of SLM 3D printing technology and lost wax casting technology in the production of removable partial denture brackets.** ZENG He-qing, MOU Rong, YU Yue. Department of Stomatology, Hanzhong Stomatology Hospital, Hanzhong 723000, Shaanxi, CHINA

**【Abstract】 Objective** To analyze the application effect of selective laser melting (SLM) 3D printing technology and lost wax casting technology in the production of removable partial denture brackets. **Methods** Eighty-six patients with Kennedy I dentition defects admitted to Hanzhong Stomatology Hospital from May 2021 to May 2023 were selected and randomly divided into group A and group B according to the random number table method, each with 43 patients. In group A, SLM 3D printing technology was applied to produce removable partial denture brackets, and in group B, lost wax casting technology was applied to produce removable partial denture brackets. After wearing dentures for one week, the two groups of patients were compared in number of mucosal tenderness points, wearing effect of denture bracket, and chewing efficiency. After wearing the denture for one month, the two groups of patients were compared in the satisfaction score, subjective perception score, and the occurrence of complications. **Results** After one week of denture wearing, the average number of tenderness points in the oral mucosa of group A was  $0.61 \pm 0.13$ , which was significantly lower than  $2.23 \pm 0.21$  in group B; the absorbance value of group A was  $0.61 \pm 0.05$ , which was significantly higher than  $0.43 \pm 0.03$  of group B, with statistically significant differences ( $P < 0.05$ ). After one week of denture wearing, the retention, suitability, and stability of group A were 55.81%, 53.49%, and 58.14%, which were significantly higher than 30.23%, 27.91%, and 32.56% of group B ( $P < 0.05$ ). After one month of denture wearing, the subjective perception score and satisfaction score of group A were  $(28.07 \pm 2.75)$  points and  $(14.66 \pm 3.21)$  points, which were significantly higher than  $(16.55 \pm 0.44)$  points and  $(6.68 \pm 1.32)$  points of group B, with statistically significant differences ( $P < 0.05$ ). After one month of denture wearing, the incidence of complications in group A (6.98%) was significantly lower than that in group B (23.26%), with a statistically significant difference ( $P < 0.05$ ). **Conclusion** SLM 3D printing technology in the production of removable partial denture brackets has good application effect. Compared with traditional lost wax casting technology, it results in smaller deviation, higher accuracy, higher comfort and satisfaction, which is worth promoting and applying in clinical practice.

**【Key words】** Removable partial dentures; Lost wax casting; Selective laser melting; 3D printing; Bracket; Dentistry defect

基金项目: 中华口腔医学会西部口腔医学临床科研基金资助项目(编号: CSA-W2018-04)。

第一作者: 曾河清(1982—), 男, 主管技师, 主要从事口腔医学技术工作。

通讯作者: 牟荣(1980—), 女, 主管技师, 主要从事口腔医学技术工作, E-mail: mr18191169611@163.com。

牙列缺损是一种常见、多发的口腔疾病,好发于老年人群,严重影响口颌、发音系统健康。近年来随着我国逐渐步入老龄化社会,口腔健康的问题日益突出<sup>[1]</sup>。目前,可摘局部义齿是临床修复牙列缺损的主要方法,主要由人工牙、塑料基托和金属支架组成,患者可自行摘戴,使用较为方便,且较义齿种植经济负担更小<sup>[2]</sup>。传统失蜡铸造技术主要包含蜡型制备、包埋和铸造等过程,其制作时间较长、工艺较繁琐,对口腔技师的要求也相对较高,而铸道的设计、包埋材料的选取以及蜡型的收缩等均会影响制作支架的精确度<sup>[3]</sup>。选择性激光熔融(SLM)是一种基于激光分层成型工艺的3D打印技术,不仅能有效弥补传统铸造技术难以融化支架常用材料钛合金粉末的问题,同时制作期间无需间接黏合剂,有效提高支架制作的精确度<sup>[4]</sup>。但目前关于将SLM 3D打印技术应用于可摘局部义齿支架制作的研究较少。为此,本研究将探讨采用SLM 3D打印技术行可摘局部义齿支架制作的应用效果,现将结果报道如下:

## 1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2021年5月至2023年5月汉中市口腔医院收治的86例Kennedy I类牙列缺损患者作为研究对象。纳入标准:(1)临床确诊为Kennedy I类牙列缺损者;(2)余牙未发生松动者;(3)开口度 $\leq 3.7$  cm者。排除标准:(1)合并糖尿病等疾病者;(2)合并免疫系统疾病者;(3)合并慢性牙周炎者。根据随机数表法将患者分为A组和B组各43例,A组患者中男性20例,女性23例;年龄45~75岁,平均 $(53.18 \pm 2.27)$ 岁。B组患者中男性19例,女性24例;年龄46~76岁,平均 $(53.24 \pm 2.32)$ 岁。两组患者的年龄、性别比较差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ),具有可比性。本研究经我院医学伦理委员会批准,所有患者均知情并签署知情同意书。

1.2 设备和材料 美国Bio-Tek公司生产的型号为Epoch2型的全波长多功能酶标仪、德国Bego公司生产的钴铬合金、美国Dentsply公司生产的义齿基托树脂粉、美国3M公司生产的硅橡胶印膜材料、沪鸽齿科材料有限公司生产的树脂人工牙、意大利Sisma公司生产的3D激光打印机、丹麦3shape公司生产的口内扫描仪、Lava C.O.S三维数字化系统、泰富亨齿科材料有限公司生产的型号为AX-GL3的高频离心铸造机。

## 1.3 制作方法

1.3.1 A组 该组患者采用SLM 3D打印技术行可摘局部义齿支架制作:(1)由同一经验丰富口腔医师对口腔进行多方位扫描,扫描时一手持扫描头,一手持口镜将患者上唇拉开,将扫描头自患者上颌缓慢移动,同时观察主机屏幕上的3D成像,至上颌全部基牙

颊舌面、殆面以及可摘局部义齿支架所需覆盖的上颌软组织图像捕捉完成并生成,扫描完成后检查是否存在遗漏区域,对遗漏区域进行再次扫描,完成后得到高密度3 d点云数据,预处理后保存;(2)将数据导入3D激光打印机行离散分层处理,制备原型后得到环氧树脂支架铸型,并对其进行铸造、包埋,获得钴铬合金支架;(3)支架打印完成后手动去除支撑物,之后行热处理,待支架温度缓慢升至800℃后保温4 h,放置于氩气环境下冷却至室温,最后按常规流程去除酸洗、喷砂、支撑等,少量抛光。

1.3.2 B组 该组患者采用失蜡铸造技术行可摘局部义齿支架制作:(1)根据可摘局部义齿设计原则进行牙体预备和模型分析,对固位基牙(通常3~5个)进行选取,待全部确定后预备牙间隙、舌侧导平面和支托卡钩;(2)固位基牙选定后将固位臂放置于颊侧,舌侧采用基板或抗臂来对抗,剩下牙齿则应用舌侧卡环、隙卡、颊面钩稳定于支架中;(3)牙齿之间不利倒凹应用氧化锌黏固剂进行填充,常规行支架制备和取模,按照失蜡铸造技术的步骤完成包埋和铸造。上述制作步骤均由同一经验丰富口腔医师进行操作。

1.4 观察指标与评价方法 (1)压痛点数量:义齿佩戴1周后,将压力指示剂在义齿组织面均匀涂抹一层后戴入患者口中,叮嘱其作前伸、正中、侧方运动,之后将义齿取出;以义齿组织面受挤压力影响移去糊剂显露出粉红色基托处,该基托处所对应的口腔黏膜软组织面为压痛点,对压痛点进行计数并修改。(2)佩戴效果:义齿佩戴1周后,评估其佩戴效果。固位性:义齿在患者口腔中无松动、脱落;适合性:义齿在患者口腔内与牙齿和黏膜贴合满意;稳定性:义齿在患者口腔中无旋转、摆动、翘动、下沉等不利于功能行使的位移。(3)咀嚼效率:称5 g去皮干花生米让患者咀嚼,收集义齿表面和口腔内咀嚼物至烧杯,冲洗义齿表面和口腔内黏膜,将所有冲洗液收集至烧杯并添加蒸馏水至1 000 mL;搅拌1 min后静置2 min,之后取1/3悬浊液置于比色皿中,采用酶标仪进行检测。(4)主观感受和满意度:义齿佩戴1个月后,评估患者主观感受和满意度。主观感受:义齿固位效果、义齿摘戴方便程度、咀嚼效率、舒适程度、面容修复、语言功能恢复等6方面;满意度:治疗效果、治疗费用、治疗周期等3方面,评分均采取1~5分制,分值越高表明患者满意度越高和主观感受越好。(5)并发症:统计并比较两组患者义齿佩戴1个月后的并发症发生情况,包括义齿性口腔炎、基牙牙周炎和继发性龋病。

1.5 统计学方法 应用SPSS19.0统计软件进行数据分析。计量资料符合正态分布,以均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,组间均数比较采用 $t$ 检验,计数资料比较采用 $\chi^2$ 检验。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

## 2 结果

2.1 两组患者的口腔内黏膜压痛点数量和咀嚼效率比较 义齿佩戴 1 周后, A 组患者的口腔内黏膜平均压痛点明显少于 B 组患者; A 组患者吸光度值明显高于 B 组患者, 差异均具有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 见表 1。

表 1 两组患者的口腔内黏膜压痛点数量和咀嚼效率比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

Table 1 Comparison of the number of mucosal tenderness points and chewing efficiency between the two groups ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	口腔内黏膜压痛点数量(个)	吸光度值
A 组	43	0.61±0.13	0.61±0.05
B 组	43	2.23±0.21	0.43±0.03
<i>t</i> 值		43.012	20.243
<i>P</i> 值		0.001	0.001

2.2 两组患者的义齿支架佩戴效果比较 义齿佩戴 1 周后, A 组患者的固位性、适合性和稳定性均明显高于 B 组患者, 差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 见表 2。

表 2 两组患者的义齿支架佩戴效果比较 [例 (%)]

Table 2 Comparison of wearing effects of denture bracket between the two groups [*n* (%)]

组别	例数	固位性	适合性	稳定性
A 组	43	24 (55.81)	23 (53.49)	25 (58.14)
B 组	43	13 (30.23)	12 (27.91)	14 (32.56)
$\chi^2$ 值		5.740	5.830	5.677
<i>P</i> 值		0.017	0.016	0.017

2.3 两组患者的主观感受评分和满意度评分情况比较 义齿佩戴 1 个月后, A 组患者主观感受评分和满意度评分明显高于 B 组患者, 差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 见表 3。

表 3 两组患者的主观感受评分和满意度评分情况比较 ( $\bar{x} \pm s$ , 分)

Table 3 Comparison of subjective perception score and satisfaction score between the two groups ( $\bar{x} \pm s$ , points)

组别	例数	主观感受	满意度
A 组	43	28.07±2.75	14.66±3.21
B 组	43	16.55±0.44	6.68±1.32
<i>t</i> 值		27.125	15.077
<i>P</i> 值		0.001	0.001

2.4 两组患者的义齿支架佩戴相关并发症比较 义齿佩戴 1 个月后, A 组患者的并发症发生率为 6.98%, 明显低于 B 组患者的 23.26%, 差异有统计学意义 ( $\chi^2 = 4.441, P = 0.035 < 0.05$ ), 见表 4。

表 4 两组患者义齿支架佩戴相关并发症发生率比较 (例)

Table 4 Comparison on the incidence of complications related to denture bracket wearing between the two groups (*n*)

组别	例数	义齿性口腔炎	基牙牙周炎	继发性龋病	总发生率 (%)
A 组	43	2	0	1	6.98
B 组	43	4	3	3	23.26

## 3 讨论

牙列缺损主要指上、下颌牙列中存在牙齿缺失的情形, 不仅影响患者发音、美观、咀嚼、吞咽等功能, 还可破坏牙列三维动力平衡, 长此以往易引发咬合干扰、咬合紊乱、牙周组织破坏以及邻牙倾斜等症状<sup>[5-6]</sup>。目前, 可摘局部义齿仍是修复牙列缺损的主要方法, 钛合金作为该义齿支架的常见材料, 具有生物相容性好的优点, 但气孔率和熔点较高, 因此传统失蜡铸造技术难以达到满意制作效果<sup>[7]</sup>。加之失蜡铸造技术工序复杂、繁琐, 制造过程中还易产生裂纹、缩孔等缺陷, 以及锻造技术本身所存在的合金不均匀收缩、流动性较差等问题, 导致铸造精度和性能较低<sup>[8]</sup>。因此临床亟待研究发现一种能有效解决上述问题的方法对于提高精确度具有重要意义。

SLM 3D 打印技术是一种基于激光分层成型工艺的 3D 打印技术, 能有效加热粉末状材料并将其完全熔化, 制造过程无需使用任何的黏合剂, 因此最终打印致密度效果接近 100%<sup>[9-10]</sup>; 同时, 该技术还能实现无模具成形, 极大缩减了传统铸造技术的工艺流程<sup>[11-12]</sup>。口腔环境由于变化多样且复杂精细, 传统铸造技术制作的 可摘局部义齿多为三维曲面, 难以保证其与口腔黏膜和牙齿完全贴合。而相关研究结果显示, 应用 SLM 3D 打印技术制作的 可摘局部义齿支架精密度可达 96% 以上, 证实支架密合性良好<sup>[13]</sup>。

本研究中, 应用 SLM 3D 打印技术制作 可摘局部义齿支架, 其结果显示患者义齿佩戴后压痛点明显少于应用传统石蜡铸造技术制作 可摘局部义齿支架的患者, 提示 SLM 3D 打印技术具有更好的临床应用效果。同时, 由于不同患者口腔情况存在差异, 可摘局部义齿的支架结构也存在一定差异, 临床并无统一标准, 因此多根据患者佩戴后的主观感受评价其应用效果。本研究中, 患者应用 SLM 3D 打印技术制作 可摘局部义齿支架后通过评估其主观感受、满意度以及固位性、适合性和稳定性, 评估结果均优于应用传统石蜡铸造技术制作义齿支架, 这可能是因为 SLM 3D 打印技术能够更加精确捕捉结构数据, 因而制作的支架适配性更高, 固位效果更好, 摘戴更方便, 舒适程度更高, 治疗周期更短, 治疗费用更低<sup>[14-15]</sup>。

此外, 咀嚼效率作为评价口颌系统的主要功能性指标, 受到咬合力大小和咬合时接触面积的影响, 而对于佩戴 可摘局部义齿的患者而言, 还受到支架平衡和固位程度的影响。本研究通过咀嚼效果的对比分析发现, 应用 SLM 3D 打印技术制作 可摘局部义齿支架的患者咀嚼效率明显更高, 提示该技术固位效果更好, 支架平衡更佳。本研究结果还显示, 应用 SLM 3D 打印技术制作 可摘局部义齿支架的患者并发症发生风险明显更低, 提示该技术较传统失蜡铸造技术具

有更高的安全性。

SLM 3D 打印技术在可摘局部义齿支架制作中的应用效果良好,制作义齿支架较传统失蜡铸造技术偏差更小,具有更高的精确度,同时患者使用舒适度和满意度也更高,值得在临床推广应用。

#### 参考文献

- [1] Friel T, Waia S. Removable Partial Dentures for Older Adults [J]. *Prim Dent J*, 2020, 9(3): 34-39.
- [2] Zhang SY, Dong H. Investigation on dentition defect and restoration status of elderly people aged 65~74 years in Jiading District, Shanghai [J]. *Shanghai J Stom*, 2018, 27(5): 522-525.  
张书宇,董华.上海市嘉定区65~74岁老年人群牙列缺损及修复现状调查[J].*上海口腔医学*, 2018, 27(5): 522-525.
- [3] Zhang N, Liu Q, Liu N, et al. The impact of digital impressions on the clinical suitability of removable partial dentures [J]. *J Oral Sci Res*, 2019, 35(1): 67-70.  
张楠,刘庆,刘娜,等.数字化印模对可摘局部义齿临床适合性的影响[J].*口腔医学研究*, 2019, 35(1): 67-70.
- [4] Jing JL, Chen H, Dai Y, et al. Technical status and development trend of 3D printing removable partial denture bracket [J]. *Journal of Practical Stomatology*, 2021, 37(2): 284-288.  
景建龙,陈虎,戴云,等.3D打印可摘局部义齿支架的技术现状与发展趋势[J].*实用口腔医学杂志*, 2021, 37(2): 284-288.
- [5] Hu YL, Yang Y, Yu Y. The effect of periodontal flap repair on patients with dentition defects and its impact on periodontal indicators and gingival crevicular fluid inflammation level [J]. *Hainan Medical Journal*, 2022, 33(7): 902-905.  
胡亚利,杨洋,余跃.牙周翻瓣术修复牙列缺损患者的效果及对牙周指标和龈沟液炎症水平的影响[J].*海南医学*, 2022, 33(7): 902-905.
- [6] Takaichi A, Fueki K, Murakami N, et al. A systematic review of digital removable partial dentures. Part II: CAD/CAM framework, artificial teeth, and denture base [J]. *J Prosthodont Res*, 2022, 66(1): 53-67.
- [7] Yang JD, Bian C, Yuan S. Retrospective study on the influence of two removable partial dentures on the periodontium of abutment teeth [J]. *Journal of Clinical Stomatology*, 2020, 36(2): 109-112.  
杨佳迪,边策,袁硕.两种可摘局部义齿对各基牙周影响的回顾性研究[J].*临床口腔医学杂志*, 2020, 36(2): 109-112.
- [8] Yang LN, Zhai Q, Zhao JN, et al. Comparison of clinical failure rate between cobalt chromium casting stent and digital printing stent for removable partial dentures [J]. *Stomatology*, 2022, 42(12): 1104-1108.  
杨雷宁,杨茜,赵君娜,等.可摘局部义齿钴铬铸造支架和数字化打印支架的临床失败率对比[J].*口腔医学*, 2022, 42(12): 1104-1108.
- [9] Carneiro Pereira AL, Bezerra de Medeiros AK, de Sousa Santos K, et al. Accuracy of CAD-CAM systems for removable partial denture framework fabrication: A systematic review [J]. *J Prosthet Dent*, 2021, 125(2): 241-248.
- [10] Yoshimoto T, Hasegawa Y, Salazar S, et al. Factors Affecting Masticatory Satisfaction in Patients with Removable Partial Dentures [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(12): 6620.
- [11] Ni D, Dong Y, Peng JP, et al. The effect of support angle on the suitability of selective laser cladding for manufacturing removable partial denture brackets with bilateral free end dentition defects [J]. *Chin J Stomatol*, 2020, 55(3): 165-170.  
倪达,董研,彭京平,等.支撑角度对选择性激光熔覆制作下颌双侧游离端牙列缺损可摘局部义齿支架适合性的影响[J].*中华口腔医学杂志*, 2020, 55(3): 165-170.
- [12] Jiang W, Xu S, Zhou YN. Factors affecting the forming quality of selective laser cladding technology and its application progress in the manufacturing of dental restorations [J]. *Shandong Medical Journal*, 2019, 59(17): 109-112.  
蒋伟,许胜,周亚男.选择性激光熔覆技术成形质量影响因素及其在口腔修复体制造中的应用进展[J].*山东医药*, 2019, 59(17): 109-112.
- [13] Ye RR, Zhong Q, Wang Y, et al. The influence of removable partial dentures made by 3D printing and belt casting on patients' subjective feelings [J]. *Shanghai J Stom*, 2022, 31(3): 295-299.  
叶荣荣,钟群,王珏,等.3D打印与带模铸造法制作的局部义齿对患者主观感受的影响[J].*上海口腔医学*, 2022, 31(3): 295-299.
- [14] Bandiaky ON, Lokossou DL, Soueidan A, et al. Implant-supported removable partial dentures compared to conventional dentures: A systematic review and meta-analysis of quality of life, patient satisfaction, and biomechanical complications [J]. *Clin Exp Dent Res*, 2022, 8(1): 294-312.
- [15] Dai YJ, Dong Y, Peng W, et al. Study on the precision and sealing of SLM printed cobalt chromium alloy base crown [J]. *Journal of Practical Stomatology*, 2018, 34(2): 158-163.  
戴宜君,董研,彭伟,等.SLM打印钴铬合金基底冠精度及密合性研究[J].*实用口腔医学杂志*, 2018, 34(2): 158-163.

(收稿日期:2023-06-17)